

# DEM으로부터 하천망 추출을 위한 흐름누적 임계값의 분석

## Analysis of Flowaccumulation Threshold Value to Extract Stream Network from DEM

김연준\* · 양인태\*\*

Kim, Yeon Jun · Yang, In-Tae

### 要 旨

지형은 강우시 유역의 유출반응을 결정하는 중요한 인자이다. 유역분석에서 하천망은 중요한 지형 매개변수이다. DEM 격자 크기와 배수누적 행렬의 흐름누적 임계값은 격자 DEM를 이용하여 추출된 하천망에 영향을 미친다. 따라서 DEM에 의해서 추출된 하천망의 배수 밀도는 선택된 DEM 격자크기와 흐름누적 임계값에 따라 다양하다. 일반적으로 작은 흐름누적 임계값은 높은 배수밀도를 가지는 아주 세부적인 하천망을 만들어 내고, 큰 임계값은 조잡한 하천망을 만들어 낸다.

이 연구에서는 연구대상지역에서 총 하천길이가 각각의 DEM 격자크기에 대해 흐름누적 임계값을 계산하는데 이용되었다. 하천망은 흐름누적 임계값을 적용하여 각각의 DEM 격자크기에 대해 추출되었으며, 흐름누적 임계값과 각각의 DEM 격자크기에 연관성이 회귀방정식으로 도출되었다.

### ABSTRACT

The topography is recognized as an important factor in determining the streamflow response of watershed to precipitation. In watershed analysis, stream networks are very important parameters. Each DEM grid size and flowaccumulation threshold value of drainage accumulation matrix have influence on stream networks extracted by using grid DEM. Therefore, stream networks extracted from DEM varies with each DEM grid size and flowaccumulation threshold value. Generally, small threshold values will generate more detailed stream network with higher drainage density. High threshold values will generate coarser stream networks.

In this paper, total stream length in the study area was used to calculate the flowaccumulation threshold value by each DEM grid size. Stream network was derived by each DEM grid size, which is applied flowaccumulation threshold value. Regression equation was derived by correlation between flowaccumulation threshold value and each DEM grid size.

## 1. 서 론

수문에서 지형 매개변수의 결정은 GIS가 수문분석에 관련된 가장 활발한 영역이다. 유역에 대한 지형분석은 대단히 중요하다. 지표면의 형상에 의해서 표현되는 지형 매개변수는 유역분석에 많은 영향을 미친다.<sup>10)</sup>

GIS는 지표면의 공간특성의 표현을 잘 제공해주며, 유역분석에 필요한 지형 매개변수 추출을 효과적으로 제공해준다. 과거에는 유역분석에 필요한 지표면의 지형 매

개변수들을 단순하게 처리하였다. 따라서 대부분의 경우에 지형 매개변수의 공간특성을 동일하게 가정하거나 부단위의 작은 항목들은 동일한 특성으로 간주하였다. GIS는 분류항목과 세부적인 묘사에서 공간적인 부단위 정의 등급을 증대시키는 가능성을 가지고 있다. 지형 매개변수의 추출에서 GIS 기법을 적용시키면 유역의 지형에 관련된 중요한 매개변수의 모형화를 다양하게 형성할 수 있다.

GIS 기법을 이용한 지형 매개변수의 추출은 지표면의 특성에 관련된 자료들을 자료기반(DB : Data Base)화하여 격자(Grid)나 불규칙삼각망(TIN : Triangulate Irregular Network) 수치고도모형(DEM : Digital Elevation Mode)을 이용한다. 가장 일반적인 형태는 규칙적인 사각형 격

\*대원과학대학 토목과 조교수

\*\*강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

자 DEM이다. 격자 DEM으로부터 하천망을 추출하는 알고리즘은 3×3 대상영역 기법을 사용한다.

DEM으로부터 하천망을 추출하고, 저장하는 자동화된 여러 가지 방법의 알고리즘이 개발되었다. 이 알고리즘은 대부분 사각형 격자 DEM을 이용한다. Peuker와 Douglas는 격자 DEM으로부터 하천망을 추출하는 알고리즘을 제안하였다.<sup>11)</sup> Srinivasan 등은 40m~400m 격자 해상력을 가지는 모형을 이용하여 추출된 수문 매개변수들이 유역 분석 결과에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다. 이 연구결과에서 격자크기가 유역분석 결과에 영향을 주기 때문에 그는 적절한 격자크기의 중요성을 강조하였다.<sup>13)</sup> 또한 Chairat은 30m, 60m, 90m의 격자크기를 가지는 격자 DEM을 이용하여 유역분석에서 격자크기의 영향을 연구하였다. 그는 이들 격자크기의 영향이 유역분석에서 약간의 차이를 보이고 있으며, 30m 해상력의 격자에서 침투유출과 총 유출이 관측값에 가장 잘 부합한다고 하였다.<sup>6)</sup>

최근 국내에서는 국립지리원이 구축한 수치지도으로부터 DEM을 구축하여 여러 가지 연구에 응용하는 방법에 대하여 논의가 되고 있으며, 이 수치지도의 이용이 중요시 되고 있는 실정이다.

지형 매개변수 추출에서 격자 DEM의 이용은 격자크기의 해상력에 영향을 받는다. 따라서 DEM의 격자크기 해상력에 따른 지형 매개변수의 영향을 분석해야만 한다.

본 연구에서는 연구대상지역인 평창강 유역을 대상으로 수치지도 1 : 50,000의 주곡선 간격의 20m 등고선 자료를 이용하여 TIN을 생성한 다음, 이 TIN으로부터 격자 DEM 격자크기를 20m에서 100m까지 10m씩 DEM 격자크기를 증가시켜 DEM을 생성한 다음, 생성된 각각의 DEM에서 흐름누적 임계값을 변화시켜 하천망을 추출하여, 이 흐름누적 임계값의 변화에 따른 하천망 길이를 회귀분석을 통하여 DEM 격자크기에 따른 하천망 길이의 방정식을 도출하여 흐름누적 임계값과 DEM 격자크기의 방정식을 도출하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

이 연구의 목적은 지형 매개변수의 결정을 위한 DEM 자료 처리를 GIS에 의해 효과적으로 수행하기 위한 것이다. GIS는 지형 매개변수의 추출을 수작업으로 하는 것보다 더욱 편리하고 다양한 공간자료를 취득하는데 사용될 수 있다. 그러므로, GIS에 의한 지형 매개변수를 위해서는 GIS에 대한 지식을 갖고 있어야 한다. 따라서 DEM으로부터 지형 매개변수를

추출하기 위해서는 어느 정도의 GIS 지식을 필요로 한다.

지리정보시스템은 공간자료의 수집, 저장, 검색, 분석 및 화면 출력을 위한 컴퓨터 지원시스템으로써 설명되어 진다. GIS는 공간자료 레이어들을 사용자들의 능력에 따라 중첩하는 것에 의해 특성화되고 자동화된 도면작성과 테이블화된 결과 또는 새로운 정보를 생성할 수 있도록 공간 질의를 수행한다. 도형 형상과 위치를 기술하기 위한 공간요소는 도형정보를 기술하는 데이터베이스와 자동 연결된다.

GIS의 목적은 실세계를 관측하고 속성과 연결된 공간요소로 자료를 축척에 맞추는 것이다. 속성은 데이터베이스 관리 시스템(DBMS : Database Management System)으로 관리 되고, 지형요소는 일반적으로 벡터와 격자형으로 구성된다. 벡터구조는 점, 선, 면으로 분류되며 이것은 크기와 방향이 포함된 2차원 좌표로 수치화 되어 표현된다. 격자형은 도형요소를 망구조 또는 메쉬(mesh)로 공간데이터를 표현한다. 일반적으로 벡터자료 방법은 맵핑과 공간 질의를 수행하는데 적합하며, 격자형 자료 방법은 지형학과 같은 연속적 지표면을 표현하는데 사용한다. 격자형은 수학적 함수와 논리적 연산에 의한 모델링에 사용될 수 있다. 이 연구에서 이용된 GIS 개발소프트웨어로 ESRI사의 Arc/Info를 사용하였다.

### 2.1 그리드 DEM

지형 매개변수 추출은 그리드 처리에 의해 이루어진다. 일반적으로, 격자형에 의한 지형정보체계는 정방형 셀(cell)들로 정규화 된 배열로 나누어진다. 각 셀은 공간적으로 다양한 정량화 상태에 대한 정형 값을 할당받는다. 이것은 벡터 위상 관계 모델을 사용하여 나타내는 지형요소와 테이블 자료로 표현되는 주제별 속성을 갖는 벡터 커버리지와 대조된다. 그리드는 지도대수언어(Map Algebra Language)라는 집합적이고 광범위한 함수와 연산자를 제공한다. 이것은 새로운 자료를 생성하는데 현재 격자형 자료를 다루는데 용이하다.

그리드 데이터베이스는 공간적 변수 또는 주제도를 나타내는 각 그리드들의 집합체이다. 열(row)과 행(column)은 지도투영과 연관된 직각좌표 체계에서 구성된다. 각 셀에 할당된 값들은 명칭, 서수, 간격 및 비율 측정을 나타내는 정수 또는 실수로 이루어진다. 유효한 셀자료 영역 이외의 널(null) 자료는 NODATA로 할당된다.

그리드가 정수 그리드로 설정된다면, Value Attribute Table(VAT)이 할당된다. 이것은 기본적으로 자료의 레코드 번호, 셀값, 그리드에서 할당된 셀값의 개수로 구성된다. 그리드 내의 각 값은 VAT에 하나의 레코드와 대응된다. 그밖에 제공되는 항목들이 정수값으로 한정된 것은 아니다.

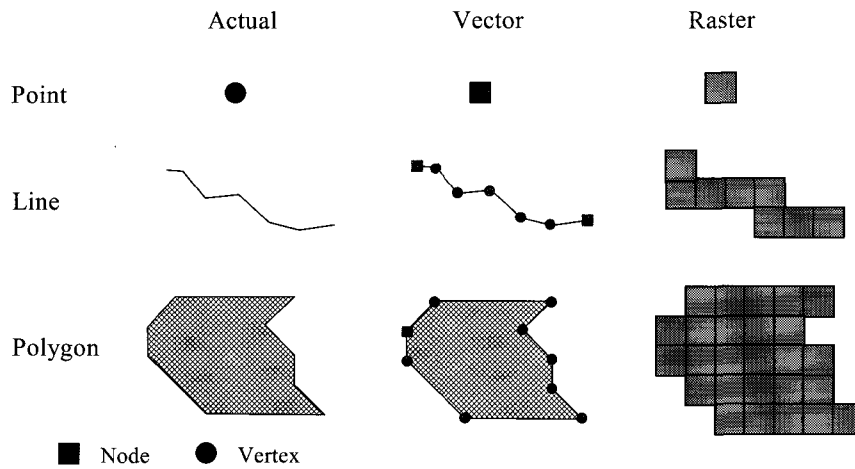


그림 1. ARC and GRID의 지형표현 방법

그리드 연산자는 VAT에서 정의된 항목을 이용하여 수행된다. 하지만 기본 항목은 셀 값이다. 추가되는 항목들은 기본으로 제공되는 Arc/Info 테이블 데이터베이스 처리를 사용하여 VAT에 추가 될 수 있다. 이것은 직접적으로 그리드 함수에 의해 추가 될 수 없으며, 그리드 함수는 VAT의 "VALUE"와 "COUNT" 항목에 대해 값들을 할당한다.

그리드는 수학적 또는 논리적 연산자로 형성이 되는 레이어로 사용된다. 공간 레이어로 등록은 모든 그리드가 지도 투영이 이루어져야 한다. 각 그리드는 직각좌표 시스템을 갖는 그리드의 위치뿐만 아니라 지도 투영을 포함하는 정보를 포함한다.

그리드는 지형학과 같은 연속적 표면 또는 점, 선, 면과 같은 개별 요소를 표현할 수 있다. 그리드는 연속 또는 개별 자료간의 구분을 갖지 않는다. 예로, 점형은 독립된 값을 갖는 하나의 셀로 표현이 되며, 선은 같은 값을 갖는 셀들로 표현이 된다. 또한 면은 같은 값을 갖는 그리드 집합으로 표현이 된다. 그리드에서 ZONE은 동일한 셀 값들을 포함하는 셀들의 집합으로써 규정된다. 이처럼 ZONE은 반드시 연속적인 것은 아니다. ZONE은 연속적일 필요는 없지만, 각 ZONE은 같은 값을 가지기 때문에 그리드 ZONE은 영역으로써 표현된다. 그리드는 벡터 커버리지를 그리드 커버리지로 변환하는 기능을 갖는다.

그림 1은 벡터와 그리드 구조가 지형요소를 표현하는 방법을 비교하였다. 아크-노드 위상관계와 이와 연관된 속성 데이터베이스는 부울 조회로 레코드들을 계산함으로써 새로운 정보를 생성한다. 이런 처리방법은 선택된 모든 레코드들에 대해 수행된다. 지형요소의 속성과 위치를 결합하여

이런 처리를 할 경우에는 각 레코드 별로 처리 하기는 어려움이 있다. 그리드 지도대수언어와 지형요소의 셀 단위 표현은 이런 수행에 비교적 효과적인 방법이라 할 수 있다.

속성자료 표현은 레스터 시스템 보다 벡터 시스템에서 더욱 효과적이다. 예로, 토지이용의 연속적인 지역에 대한 코드값은 그리드 영역의 모든 셀에 나타내야 한다. 벡터에서는 이 지역에 대해 하나의 면과 하나의 코드값으로 표현된다. 반면에 그리드 시스템은 지형적으로 쉽게 표현될 수 있다. 투영 변수이외에도, 그리드는 원점의 정의, 셀 차원 및 배열 크기를 완벽하게 정의 할 수 있다. 그러나 벡터 요소들은 다량의 좌표열을 요구한다.

## 2.2 그리드 DEM에 의한 하천망 추출

### 2.2.1 하천망 체계

한 지역의 어떤 위치에 물이 떨어질 경우에 물이 흘러서 한 방류구로 나갔을 때까지의 일련의 망을 하천망 체계라고 말할 수 있다. 유역에서의 물의 흐름은 강우, 중발, 지표수와 같은 물 순환계의 일부분이다. 지표면 상의 물 이동은 배수체계에 의해서 이루어진다.

방류구를 통과하는 물의 흐름을 표현한 망조직은 나무(tree)형 구조로 표현할 수 있다. 즉, 방류구는 나무형 구조가 기본이 되며, 나무형 구조의 가지들은 하천망을 가리키는 것이다. 이 구조에서 두 하천이 교차하는 부분은 노드 또는 합류점이라고 한다. 하천망의 최소단위를 결합에 의하여 최상류점부터 합류점까지, 또는 도중에서 지천의 합류를 포함하지 않는 하도구간상의 합류점간의 구간 등으로 구분하여 일련의 차수화에 의하여 하천을 분류 할 수

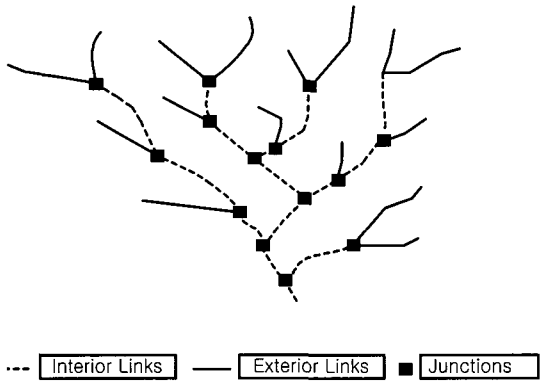


그림 2. 하천망의 절점과 연결부

있다. 계통적인 하류의 최초의 합류점을 잇는 나무형 구조의 가장 끝에 있는 가지를 외부연결점이라 하고, 하나의 합류점과 방류점 또는 두 개의 연속적인 합류점 사이의 하천을 내부연결점이라 한다. 그림 2는 하천망에서의 절점과 연결부를 나타내었다.

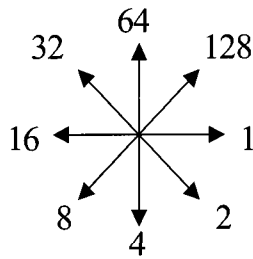
### 2.2.2 하천망 추출과정

지표를 흐르는 지표수는 항상 가장 경사가 급한 하향경사 방향으로 그 흐름이 생성된다. 각 셀에서 흐름방향이 결정되면 주어진 셀 속으로 유입되는 다른 많은 셀에서부터 흐름이 어떻게 생성되는 지를 결정할 수 있다. 이러한

Flow elevation grid

11	9.3	7.6	5.1	5.7
11	9.2	7.1	4.1	4.4
10	8.7	6.0	3.6	3.2
9.2	8.5	5.0	3.1	2.7
9.1	6.2	4.1	3.0	2.5

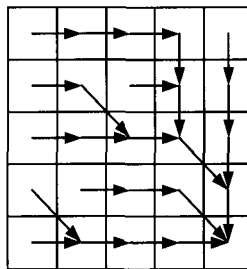
Flow directions



Flow direction grid

1	1	1	4	4
1	2	1	4	4
1	1	1	2	4
2	1	1	2	4
1	1	1	1	2

Actual flow direction



Flow accumulation

0	1	2	3	0
0	1	0	5	1
0	1	4	11	2
0	0	1	2	15
0	2	3	4	24

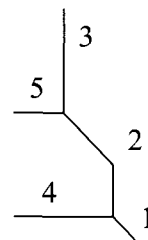
Stream grid

			1	
			1	
		1	1	
				1
		1	1	1

Stream link grid

			3	
			3	
		5	2	
				2
		4	4	1

Stream lines



Flowaccumulation > 2

그림 3. 하천망 추출 처리과정

셀 정보들은 유역의 하천망을 결정할 수 있다.

지표면에 대한 수문학적 특성을 추출하는 요소는 격자 DEM에서 모든 셀로부터 흐름방향을 결정하는 것이다. 이것은 유향(flowdirection) 함수로부터 얻을 수 있다. 그림 3은 하천망 작성 처리 과정을 나타내고 있다. 경계 셀을 제외한 그리드 내의 모든 셀들은 8개의 인접 셀을 갖고 있다. 그러므로 하나의 셀이 다음 셀로 흐를 수 있는 경우가 8가지가 존재한다. 이 연구에서 사용한 GIS 툴인 Arc/Info는 방향을 규정하는데 정수 값을 사용한다. 방향표시 값은 1 -> 동, 2 -> 남동, 4 -> 남, 8 -> 남서, 16 -> 서, 32 -> 북서, 64 -> 북, 128 -> 북동으로 표시한다. 하나의 셀을 중심으로 8개의 인접 셀을 비교하여 가장 낮은 고도 값을 갖는 셀의 방향으로 흐름방향이 결정된다. 이 과정에서 같이 모든 셀들이 대상 셀 보다 높거나 두 개의 셀 방향이 서로 마주친다면 이것은 함몰점으로서 DEM 자료의 오차에 해당된다. DEM 자료의 오차를 제거하기 위해서는 함몰점의 확인과 제거가 필요하다. 따라서 함몰점 오차를 제거하는 Fill 기능으로 함몰점이 없어질 때까지 반복처리 과정을 거친다.

흐름 누적 임계값의 처리는 흐름 방향 그리드를 사용하여 흐름방향에 따라 셀들의 수를 누적하여 값을 계산한다. 하천망 구성은 이 흐름 누적 값에 대한 특정 임계값 이상의 셀들을 주관적으로 결정하는 것이다. 추출된 하천망이 지형도의 하천망과 동일한 형태를 갖기 위한 임계값 설정은 자동화 과정이 어려우며, 임계값은 각 유역별 차이를 나타낼 수 있으므로 반복적 통계 작업으로 결정되어야 한다.

Mark는 수문학적 접근을 이용하여 하천망을 결정하기 위하여 다음과 같은 전략을 일반화하였다. 이 과정을 몇 가지 단계로 나타내면 (1) 고도행렬에서 흐름방향 행렬의 계산 (2) 함몰지역의 검증과 제거 (3) 경중률 행렬의 정의 (4) 흐름누적행렬의 계산 (5) 하천망 산출을 위한 흐름누적 임계기준의 적용이다. 흐름 방향행렬은 각각의 셀에 대해 흐름방향이 저장된 행렬이다.<sup>9)</sup>

모든 방법들은 각각의 셀이 정확하게 하나의 인접셀로 배수될 수 있다고 가정한다. 흐름방향은 경사방향정보나 최대경사방향을 이용하여 계산된다. 마지막 방법은 수문학적으로 아주 적절하게 인식된다. 최대 기울기나 최대하강은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Maximum drop} = \text{change in } z \text{ value} / \text{distance}$$

여기서 distance는 중앙 셀 간격으로 결정한다. 3×3 대상 영역이 이용되면 이 윈도우의 중앙셀은 여덟 개의 인접셀을 가진다. 셀 크기가 1이며 두 셀의 직선거리는 1이고, 두 셀사이의 대각선 거리는  $\sqrt{2}$ 값인 1.4142이다.

특정한 배수유역 현상을 모형화하기 위해서는 경중률 행렬의 정의는 필수적이다. 이 행렬은 흐름누적 행렬의 계산에 영향을 미친다. 각각의 요소는 행렬에서 그 요소가 배수되는 모든 요소들의 경중률 합이다.

경중률 행렬은 흐름누적행렬에서 독특한 값을 산출한다. 특정한 경중률 행렬은 (1) 경중률 행렬의 각각의 요소가 1이면 흐름누적행렬의 각각의 셀은 이것을 흐르는 셀 수를 나타내며, (2) 경중률 행렬의 각각의 요소가 셀 면적으로 되면 흐름누적 행렬의 각각의 셀은 이것을 흐르는 셀의 면적을 표현하며, (3) 단지 한 셀 만이 1로 되고 나머지 셀이 0이 되면 1과 동일한 값을 가지는 흐름누적 행렬의 각각의 셀은 이 셀로부터 배수로까지의 경로를 나타내고, (4) 경중률 행렬이 주어진 경우 동안의 평균강우량을 나타낸다면 흐름누적 행렬은 완전한 유출로 가정하여 각각의 셀을 통하여 흐르는 총 강우를 나타낼 것이다.

흐름누적행렬이 얻어지면 선택된 경중률 행렬에 의하여 최소 배수유역이나 셀에 기여하는 최소의 흐름누적 임계값을 적용하여 하천망의 추출을 가능하게 한다.

추출된 하천망의 배수밀도는 선택된 임계값에 의하여 변한다. 낮은 임계값은 높은 배수밀도를 가지는 아주 세부적인 하천망을 산출하는 반면에 높은 임계값은 조잡한 하천망을 산출한다. Tarboton은 DEM으로부터 추출되는 하천망의 적절한 임계값을 결정하기 위한 분석과정을 제안하였다.<sup>14)</sup> 또한 Mark는 Band에 의해서 제안된 방법을 발표하면서 임계값의 이용으로 다음과 같은 매개변수의 기준값을 제안하였다.<sup>9)</sup>

$$P = \ln\left(\frac{a}{\tan b}\right)$$

여기서 a는 셀에 기여하는 배수면적이고, b는 표면경사이다. 이 방법에 대한 임계값은 다음과 같이 결정한다. 몇 개의 독단적인 임계값에 대한 다른 많은 수치하천망을 산출한다. 하천특성은 이들 수치망의 각각의 하나에 대하여 계산하고, 최적의 임계값은 하천망에 대해 추출된 하천망 특성이나 유용한 법칙의 수치망을 산출하는 것이다.

### 3. 실제 적용 및 분석

#### 3.1 DEM 구축과 하천망 추출

본 연구를 수행하기 위하여 연구대상지역은 평창강 유역으로 선정하였다. 이 평창강 유역은 우리 나라 중앙부에 위치하는 한강 제 1지류 강원도 평창군의 봉평면, 용평면과 대화면의 일부가 전체 유역을 포함하고 있다. 이 유역은 한강수계의 북단부인 동경 128° 15' 27" ~ 128° 31' 09", 북위 37° 26' 37" ~ 37° 43' 54" 사이에 위치하며, 태백산맥과 근접하여 있는 관개로 대부분이 표고 600m ~ 1,300m의 고봉으로 분수령을 이루고 있어 지세가 험준하며, 유로의 형성이 유역의 좌측에 편재되어 있는 전형적인 산악지역의 계곡형 하천망을 이루고 있다. 이 평창강 내의 지형도상의 유역면적은 403.224km<sup>2</sup>이다.

현재 우리 나라에는 이용할 수 있는 DEM 자료가 없기 때문에 지형도의 등고선 자료를 이용하여 DEM을 구축하고 있다. 유역의 지형 매개변수를 추출하기 위해서는 일반적으로 격자 DEM를 이용한다. 그러나 이러한 격자 DEM의 이용한 DEM 격자의 크기에 따라 지형 매개변수 값이 다르게 나타나므로 지형 매개변수 분석에 앞서 적절한 격자크기를 결정해야 한다. 최적의 격자크기는 표면조도와 복잡성을 고려한 주어진 실제 지형을 최대한 사실적으로 표현해야 한다.

본 연구에서는 평창강 유역의 1:50,000 축척 수치 지형도로부터 주곡선인 20m 등고선 자료를 이용한 TIN을 생성한 다음, 이 TIN으로부터 Linear 보간법을 이용하여 표

고자료를 갖는 정방형 격자 DEM를 구축하였다. 이 유역의 DEM 격자 크기는 20m, 30m, 40m, 50m, 60m, 70m, 80m, 90m, 100m하였다. 또한 이들 격자 크기에 따른 흐름누적 임계값을 적용하여 하천망을 추출하였다.

표 1은 각각의 DEM 격자크기에 따른 흐름누적 임계값별 하천망의 총 길이를 나타낸 것이다.

#### 3.2 하천망 분석 및 고찰

평창강 유역의 1차 하천개수는 313개, 1차 하천길이가 231.112km, 2차 하천개수는 79개, 2차 하천길이가 107.392km, 3차 하천개수는 16개, 3차 하천길이가 44.328km, 4차 하천개수는 4개, 4차 하천길이가 44.340km, 마지막으로 최고차 하천인 5차 하천개수는 1개, 5차 하천길이가 31.610km로 하천의 총 개수는 413개이며 하천 총 길이는 458.782km이다.

DEM으로부터 하천망 추출시 격자크기에 따른 흐름누적값에 대한 임계값 결정은 중요하다. 따라서 이 연구에서는 평창강 유역의 각각의 DEM 격자크기에서 추출되는 하천망의 총 길이와 지형도상에서 추출한 총 하천망 길이를 비교하여 각각의 DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값을 결정하였다. 표 1에서 각각의 DEM 격자크기에서 흐름누적 임계값에 따른 하천의 총 길이를 산출한 것을 이용하여 그림 4에서 그림 12에 각각의 DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값에 대한 총 하천길이를 그래프로 나타낸 것이다. 또한 표 2는 표 1의 자료로부터 회귀분석을 실행하여 각각의 DEM 격자크기에 따른 흐름누적 임계값을 결

표 1. DEM 격자크기의 흐름누적 임계값에 따른 하천 총 길이

(길이 : km)

20m DEM		30m DEM		40m DEM		50m DEM		60m DEM		70m DEM		80m DEM		90m DEM		100m DEM	
흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이	흐름누적 임계값	총 하천 길이
400	669.229	170	673.175	100	647.48	60	662.558	40	669.165	30	650.012	20	693.129	15	696.363	10	755.388
470	614.992	200	617.476	120	589.111	75	590.867	50	597.621	35	600.262	25	622.908	20	604.795	15	623.007
540	569.214	230	570.843	140	544.156	90	539.958	60	534.068	40	562.803	30	567.698	25	542.839	20	545.656
610	532.743	260	536.521	160	507.406	105	499.586	70	501.141	45	528.552	35	527.168	30	495.257	25	485.072
680	499.138	290	504.123	180	476.215	120	465.229	80	468.491	50	498.143	40	488.548	35	457.546	30	443.904
750	473.842	320	477.39	200	452.02	135	439.935	90	442.597	55	472.233	45	461.195	40	431.504	35	413.735
830	449.976	350	456.882	220	433.43	150	418.463	100	421.393	60	452.563	50	438.064	45	408.265	40	388.621
900	433.128	380	440.393	240	417.231	165	398.862	110	402.516	65	436.664	55	419.904	50	387.625	45	367.053
970	418.325	410	426.052	260	400.149	180	382.598	120	385.759	70	422.413	60	403.124	55	368.155	50	348.009
1040	404.481	440	411.599	280	386.343	195	367.114	130	369.034	75	409.444	65	388.968	60	352.729	55	334.976

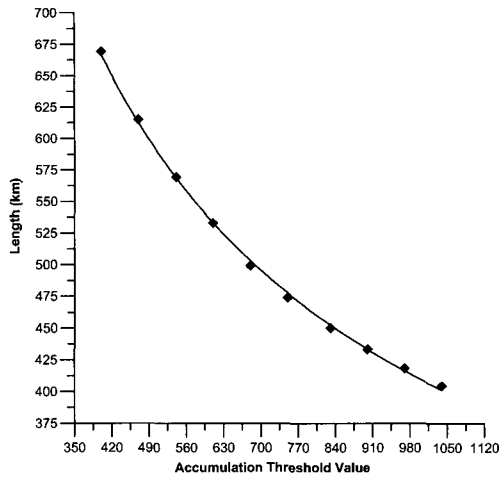


그림 4. 20m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

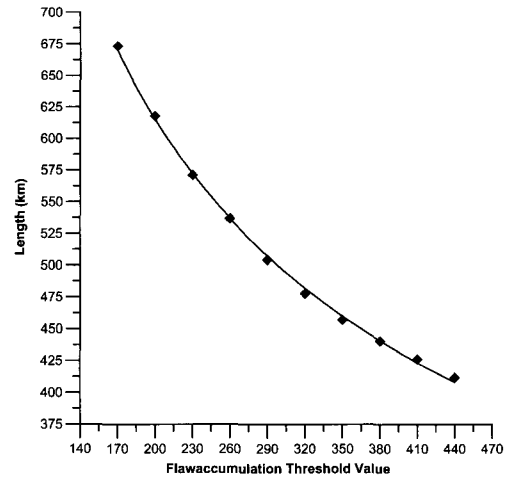


그림 5. 30m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

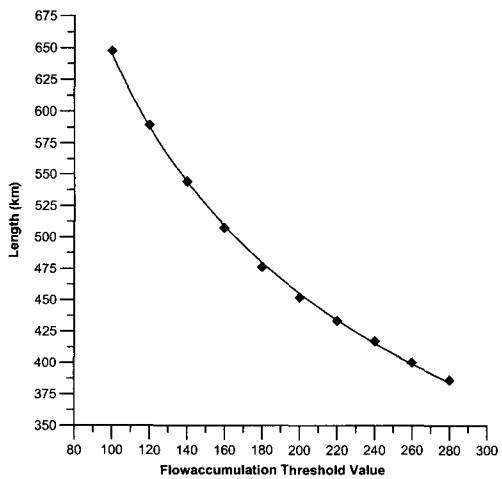


그림 6. 40m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

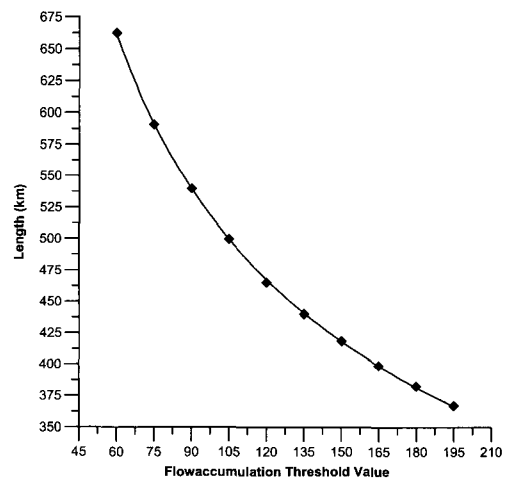


그림 7. 50m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

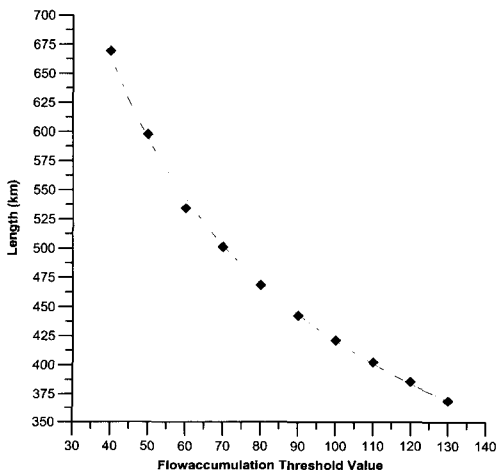


그림 8. 60m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

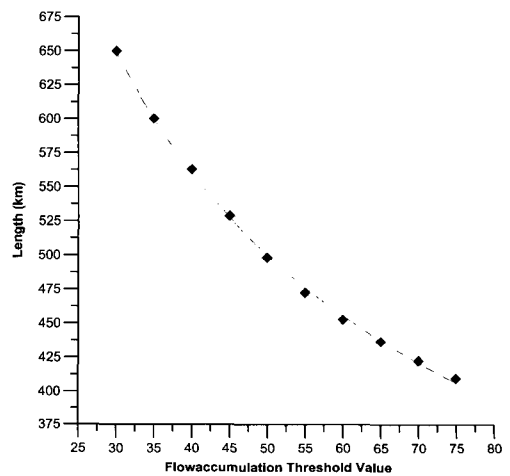


그림 9. 70m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

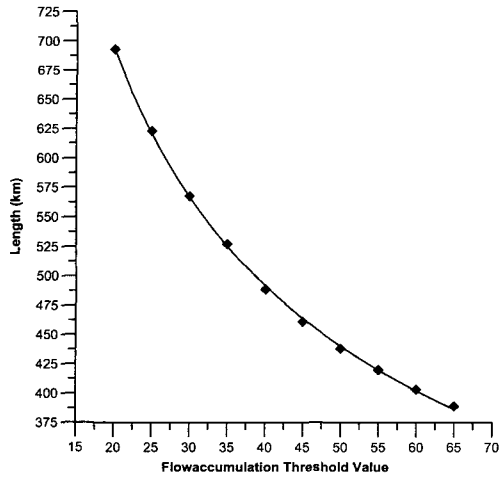


그림 10. 80m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

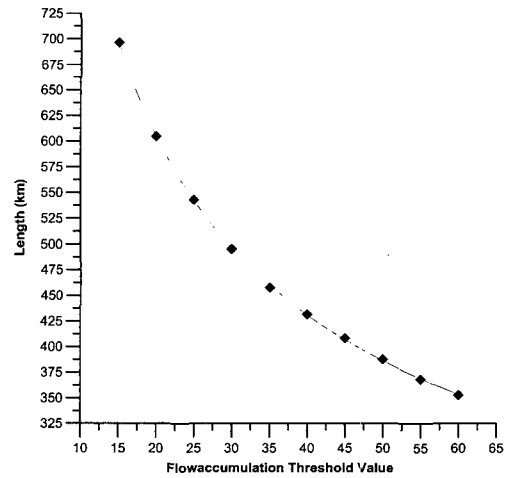


그림 11. 90m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

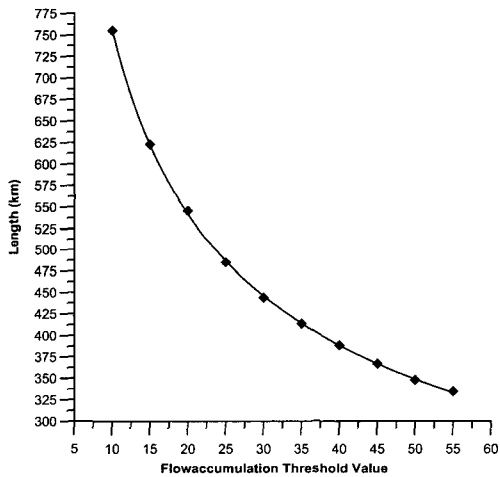


그림 12. 100m DEM의 흐름누적 임계값에 대한 총 하천 길이

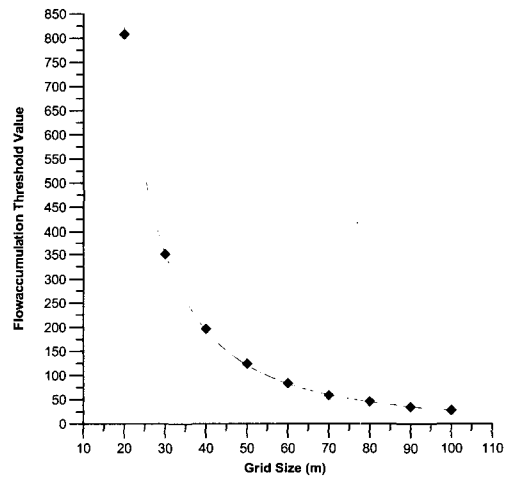


그림 13. DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값

표 2. DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값의 회귀방정식

DEM	회 귀 방 정 식	상관계수	임계값
20 m	$\ln(Y) = -0.532496 \times \ln(X) + 9.693586$	0.998984	808.28
30 m	$\ln(Y) = -0.520706 \times \ln(X) + 9.180929$	0.998725	351.41
40 m	$\ln(Y) = -0.501159 \times \ln(X) + 8.775923$	0.999264	196.85
50 m	$\ln(Y) = -0.499704 \times \ln(X) + 8.539629$	0.999884	124.58
60 m	$\ln(Y) = -0.498423 \times \ln(X) + 8.337005$	0.998833	84.00
70 m	$\ln(Y) = -0.511281 \times \ln(X) + 8.214601$	0.999005	59.15
80 m	$\ln(Y) = -0.495716 \times \ln(X) + 8.026461$	0.999499	46.00
90 m	$\ln(Y) = -0.489001 \times \ln(X) + 7.869694$	0.999857	35.18
100 m	$\ln(Y) = -0.480562 \times \ln(X) + 7.734859$	0.999816	28.29



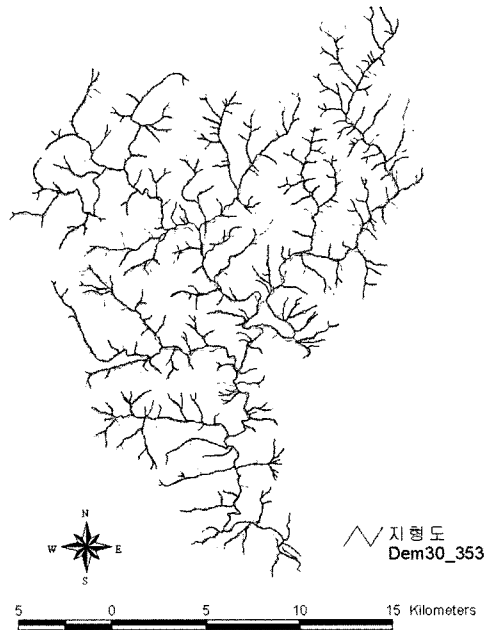


그림 14. 지형도와 30m DEM(353)의 하천망 중첩도

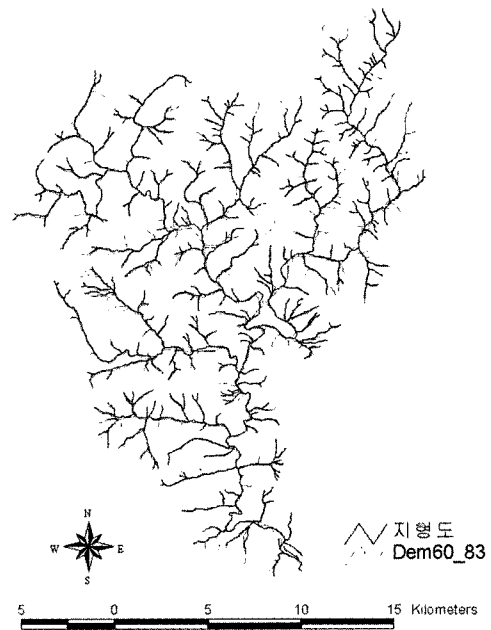


그림 15. 지형도와 60m DEM(83)의 하천망 중첩도

정하는 회귀방정식을 도출한 것을 나타내었다. 이 회귀방정식에서 Y는 총 하천 길이이며, X는 흐름누적 임계값이다. 표 2에서 흐름누적 임계값은 각각의 DEM 격자크기에서 지형도상에서 추출된 평창강 유역의 총 하천길이 458.782km에 대한 것이다.

그림 13은 표 2의 회귀방정식을 이용하여 얻어진 각각의 DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값을 이용하여 회귀 분석을 실행한 것이다. DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값의 회귀방정식은  $\ln(Y) = -2.087066 \times \ln(X) + 12.964610$ 이며, 상관계수 R은 0.999797 이다. 이 회귀방정식에서 Y는 흐름누적 임계값이며, X는 격자크기이다.

30m DEM과 60m DEM을 이용하여 DEM 격자크기에 대한 흐름누적 임계값의 방정식을 검증하였다. 이 도출된 회귀방정식으로부터 30m DEM에 대한 흐름누적 임계값은 353이고, 60m DEM에 대한 흐름누적 임계값은 83 이다. 이들 흐름누적 임계값을 이용하여 30m와 60m DEM의 하천망을 추출하였다. 30m DEM의 흐름누적 임계값 353에서는 1차 하천개수는 330개, 하천길이가 208.467km, 2차 하천개수는 78개, 하천길이가 126.866km, 3차 하천개수는 17개, 하천길이가 49.257km, 4차 하천개수는 7개, 하천길이가 35.970km, 마지막으로 최고차 하천인 5차 하천개수는 1개, 하천길이가 34.729km로 하천의 총 개수는

433개이며 하천 총 길이는 455.289km로 추출되었으며, 60m DEM의 흐름누적 임계값 83에서는 1차 하천개수는 348개, 하천길이가 213.663km, 2차 하천개수는 75개, 하천길이가 124.098km, 3차 하천개수는 19개, 하천길이가 49.781km, 4차 하천개수는 7개, 하천길이가 36.829km, 마지막으로 최고차 하천인 5차 하천개수는 1개, 하천길이가 35.302km로 하천의 총 개수는 450개이며 하천 총 길이는 459.673km로 추출되었다. 평창강 유역의 1 : 50,000 수치 지형도상에 나타난 하천망의 총 길이가 458.782km이므로 30m DEM의 경우와 비교하면 하천 총길이의 오차는 0.76% 적게 나타났으며, 60m DEM의 경우는 0.19% 크게 나타났다.

그림 14와 그림 15는 평창강 유역의 1 : 50,000 수치 지형도와 중첩된 30m DEM과 60m DEM의 하천망도를 중첩하여 나타낸 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 격자 DEM을 이용하여 하천망에 관련된 지형 매개변수를 효과적으로 분석할 수 있었다. 평창강 유역을 대상으로 연구결과, 각각의 DEM 격자 크기에 대하여 흐름누적 임계값을 변화시키면서 하천망을 추출하였

으며, DEM 격자 크기에 따른 흐름누적 임계값에 대한 하천 총길이의 회귀방정식을 도출하였다. 또한 이 도출된 회귀방정식을 이용하여 각각의 DEM 격자 크기에 대한 실제의 하천망 총 길이를 갖는 최적의 흐름누적 임계값을 결정하는 회귀방정식을 도출하였다. 이 도출된 회귀 방정식을 검증하기 위하여 30m DEM과 60m DEM에 대하여 검증을 실행한 결과, 30m DEM의 경우는 하천 총길이의 오차는 0.76% 적게 나타났으며, 60m DEM의 경우는 0.19% 크게 나타났다. 따라서 이 결과에 의하면 이용되는 DEM 격자 크기에 알맞은 흐름누적 임계값을 지정하면 실제의 지형도 상에 나타난 하천망을 DEM으로부터 추출할 수 있는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 결과, 격자 DEM의 이용하여 하천망을 추출하는 것은 DEM 격자 크기와 흐름누적 임계값에 따라 지형 매개변수가 다양하게 분석되었다. 따라서 격자 DEM을 이용하여 하천망을 추출할 경우에는 실제 지형도상에 나타난 하천망도와 동일하게 분석되도록 DEM 격자 크기에 따른 흐름누적 임계값을 지정하여야만 한다. 그렇지 않으면 실제의 지형과 상이한 결과의 하천망이 추출된다는 것을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 김연준, "지형공간정보체계를 이용한 유역분석", 강원대학교 박사학위논문, 1999.
2. 박영일, "수치지형모형으로부터 유역의 하천형태학적 특성인자 추출에 관한 연구", 강원대학교 석사학위논문, 1995.
3. 양인태, 김연준, "수문해석을 위한 DEM에 의한 지형의 경사도분석에서 격자 크기의 영향", 한국측지학회지, 제15권, 제2

- 호, pp. 221-230, 1997.
4. 최영재, "지형공간정보체계에 의한 수문분석용 지형자료 관리 인터페이스 개발", 강원대학교 박사학위논문, 2000.
5. Band L.E., "Analysis and representation of drainage basin structure with digital elevation data", Proceedings, Second International Conference on Spatial Data Handling, Seattle, Washington, 1986, pp. 437-450.
6. Chairat S., "Adapting a physically based hydrological model with a geographic information system for runoff prediction in a small watershed", Ph.D. diss., Civil Engineering, Pursue University, West Lafayette, Indiana, 1993.
7. Jenson, S.K., "Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models", Hydrologic Processes, 5(1), 1991, pp. 31-44.
8. Maidment D.R., "GIS in Hydrologic Modeling", In M.F. Goodchild, B.O. Parks and L.T. Steyaert, eds, Environmental Modeling and GIS, Oxford University Press, 1993, pp. 147-167.
9. Mark D.M., "Automated detection of drainage networks from digital elevation models", Vol. 21, 1984, pp. 168-178.
10. Moore I.D., "Hydrologic Modeling and GIS", GIS and Environmental Modeling, 1996, pp. 143-148.
11. Peucker T.K., and Douglas D.H., "Detection of surface specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data", Computer Graphics and Image Processing 4, 1975, pp. 375-387.
12. Sole A. and Valanzano A., "Digital Terrain Modeling", Geographical Information Systems in Hydrology, 1996, pp. 175-194.
13. Srinivasan R., and Engel B.A., Wright J.G., "Slope steepness prediction methods effects on topographic attributes and nonpoint source pollution models using GIS", Transactions of ASAE, 1993.
14. Tarboten D.G., Bras R.L., and Rodriguez-Iturbe I., "On the extraction of channel networks from digital elevation data", Hydrologic Processes, 5, 1991, pp. 81-100.

(2002년 6월 24일 원고접수)